

НАДЕЖНОСТЬ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Александр Матяш, Валерий Новохатний, Сергей Костенко

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Адрес: Украина, 36011, г Полтава, Первомайский проспект, 24

E-mail: kanc@pntu.edu.ua

Аннотация. В статье изложен метод, методика и алгоритм расчета надежности систем водоснабжения с разветвленной водопроводной сетью и его практическая реализация на примере небольшого населенного пункта. На основании разработанного метода расчета надежности представлен алгоритм и компьютерная реализация для ускорения вычислений и принятия эффективных инженерных решений для повышения надежности систем водоснабжения.

Ключевые слова: системы водоснабжения, надежность, безотказность, ремонтпригодность.

ВВЕДЕНИЕ

Системы водоснабжения небольших населённых пунктов строятся, обычно, по двум схемам. Первая схема – централизованная система водоснабжения, когда устраивают один водозабор, одни очистные сооружения (в случае необходимости очистки воды), насосная станция и водопроводная сеть. Вторая схема – локальные системы водоснабжения (в случае небольшой протяженности населенного пункта и наличия подземного источника воды питьевого качества).

В состав локальной системы водоснабжения входят, как правило, водозаборная скважина, разветвленная водопроводная сеть и водонапорная башня. Сооружения такой системы оказываются соединенными последовательно с точки зрения надежности. Будем рассматривать надежность водоснабжения конечных потребителей воды по направлениям подачи воды к ним. Тогда отсутствие воды у потребителей возможно из-за отказа водозаборной скважины или отказа отдельного участка водопроводной сети. «Правила предоставления услуг населению по централизованному отоплению, снабжению холодной и горячей водой и водоотведению» (постановление Кабинета Министров Украины №630 от 2005 г. [1]), требуют, чтобы «...допустимый срок отклонения показателей по бесперебойному водоснабжению составлял не более 6 часов в сутки и не более 2-х раз в месяц». ДБН В.2.5-74:2013 [2] говорит, что: «...централизованные системы водоснабжения по надежности действия или по степени обеспеченности подачи воды подразделяют на три категории» (см.табл.1)

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Основателями направления надежности систем водоснабжения в бывшем Советском Союзе, по праву, следует назвать Н.Н. Абрамова (московская школа) [3–7] и Ю.А. Ильина (ленинградская школа) [8, 9]. Из известных зарубежных данных следует отметить работы польских ученых, которые отличаются оригинальными подходами [10–17]. В России эти исследования продолжает С.В. Храменков

(“Мосводоканал”) [18], О.Г. Примин (Мосводоканал НИИпроект) [19], М.И. Алексеев, Ю.А. Ермолин [20]. В Украине разрабатывают вопросы надежности д-ра наук П.Д. Хоружый [21], А.А. Ткачук [22], А.Я.Найманов [23]. Полтавскую школу в этом направлении возглавляет д-р техн. наук В.Г. Новохатний [24 – 26]. В Украине исследования по надежности систем водоснабжения еще не достигли такого уровня, чтобы расчеты надежности вошли составной частью в технологические расчеты и были введены в нормативную документацию. С одной стороны это указывает на сложности решения этих вопросов, а с другой стороны уже есть наработки, которые позволяют вести расчеты надежности систем водоснабжения. Это относится к достаточно простым по своему строению системам водоснабжения.

Таблица 1. Категории централизованных систем водоснабжения по надежности действия или по степени обеспеченности подачи воды

Table 1. Categories of the centralized water systems on reliability of action or after the degree of ensuring of serve of water

Категория централизованных систем водоснабжения	Условия функционирования		
	Снижение подачи воды		Перерыв в подаче воды
	%	время	
1	≤ 30	≤ 3 суток	Допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы ≤ 10 мин
2	≤ 30	≤ 10 суток	Допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы и проведения ремонта ≤ 6 час
3	≤ 30	≤ 15 суток	Допускается на время выключения поврежденных и включения резервных элементов системы и проведения ремонта ≤ 24 час

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данной работы является изложение метода и алгоритма расчета надежности локальных систем водоснабжения, которые включают водопроводные сети разветвленного типа.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

При расчетах надежности систем водоснабжения необходимо обязательно решить следующие принципиальные моменты.

1. Надежность, по определению [27] – это комплексное свойство объекта, которое включает 4 составляющих: безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость. Поэтому, до начала расчетов надежности необходимо выбрать те свойства, которые будут определяться.

2. Существует значительное количество показателей надежности для каждого из 4-х перечисленных свойств. Из всего круга показателей надежности необходимо выбрать основные и именно для них разрабатывать методику расчета.

3. Математическая модель и метод расчета должны адекватно описывать процесс функционирования сооружений, но методики должны быть достаточно простыми для внедрения в практику проектирования.

4. Следует особое внимание обратить на точность исходных статистических данных, так как это существенно влияет на результаты расчетов надежности как сооружений, так и системы водоснабжения в целом.

Рассмотрим сформулированные позиции.

Составляющие надежности

Исследование вопросов долговечности сооружений систем водоснабжения требуют разработки отдельных методов. Вопросы сохраняемости не являются определяющими для систем водоснабжения. Определяющими в вопросах водоснабжения являются две составляющие надежности водоснабжения, а именно – бесперебойность (непрерывность) водоснабжения и возобновляемость водоснабжения. Эти две составляющие надежности водоснабжения определяются безотказностью и ремонтпригодностью сооружений и отдельных элементов этих сооружений. В данной статье изложены вопросы безотказности и ремонтпригодности систем водоснабжения малых населенных пунктов.

Выбор основных показателей надежности

В соответствие с ДБН В.2.5-74:2013 [2] централизованные системы хозяйственно-питьевого водоснабжения в поселках могут иметь разветвленную сеть неограниченной протяженности, если эта система не используется для пожаротушения и диаметры труб не превышают 100 мм. Требования ДБН В.2.5-74:2013 [2] по надежности водоснабжения для систем водоснабжения III-й категории ограничивают только допустимый перерыв в водоснабжении

$T_B^{don} \leq 24 \text{ часа}$, но частота перерывов не регламентируется. «Правила» [1] требуют, чтобы «допустимый срок отклонения показателей по бесперебойному водоснабжению составлял не более 6 часов в сутки и не более 2-х раз в месяц». Не рассматривая другие системы водоснабжения, в которых к снабжению водой выдвигается очень жесткие требования, примем основным показателем надежности для систем водоснабжения малых населенных пунктов коэффициент готовности K_T , а базовыми показателями надежности среднюю наработку на отказ T и среднее время восстановления T_B .

Метод расчета надежности системы водоснабжения с водопроводной сетью разветвленного типа

Надежность водоснабжения как технологического процесса непосредственно зависит от надежности водопроводных сооружений на пути от источника к диктующему потребителю. Диктующие потребители расположены в концевых, по ходу движения воды, узлах разветвленной водопроводной сети. Математической моделью расчетов надежности от источника к диктующему потребителю по выбранному направлению принято последовательное соединение восстанавливаемых элементов. Общий поток отказов (перерывов в водоснабжении) образуют подающие сооружения (насосные станции или погружные насосы скважин) и участки водопроводной сети. Назовем эти сооружения подающее-распределительным комплексом (ПРК) системы водоснабжения. Расчет надежности ПРК будем вести по формулам в следующем порядке.

Параметр потока отказов ПРК по выбранному направлению:

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i, \quad (1)$$

где: ω_i – параметр потока отказов i -го элемента.

Средняя наработка на отказ ПРК по выбранному направлению:

$$T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \omega_i}. \quad (2)$$

Среднее время восстановления работоспособности ПРК по выбранному направлению:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_i} \omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \quad (3)$$

где: T_{B_i} – средняя длительность восстановления работоспособности i -го элемента.

Параметр потока отказов i -го участка сети:

$$\omega_{y_i} = \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} \cdot L_i, \quad (4)$$

где: L_i – длина участка трубопровода i -го диаметра, км,

ω_{0_i} – удельный параметр потока отказов трубопровода i -го диаметра и материала труб.

Параметр потока отказов сети по выбранному направлению:

$$\omega_c = \sum_{i=1}^n \omega_{y_i}, \quad (5)$$

где: n – кількість ділянок мережі за вибраним напрямком.

Средняя продолжительность восстановления работоспособности сети по выбранному направлению:

$$T_{B_c} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_{y_i}} \omega_{y_i}}{\sum_{i=1}^n \omega_{y_i}}, \quad (6)$$

где: $T_{B_{y_i}}$ – средняя длительность восстановления работоспособности i -го участка сети по выбранному направлению.

Параметр потока отказов НС и сети по выбранному направлению:

$$\omega = \omega_{nc} + \sum_{i=1}^n \omega_{o_i} \cdot L_i, \quad (7)$$

где: ω_{nc} – параметр потока отказов насосной станции.

Средняя наработка на отказ НС и сети по выбранному направлению:

$$T = \frac{1}{\omega_{nc} + \sum_{i=1}^n \omega_{o_i} \cdot L_i}. \quad (8)$$

Среднее время восстановления работоспособности НС и сети по выбранному направлению:

$$T_B = \frac{T_{B_{nc}} \omega_{nc} + T_{B_c} \omega_c}{\omega_{nc} + \omega_c}, \quad (9)$$

где: $T_{B_{nc}}$ – средняя продолжительность восстановления работоспособности насосной станции,

T_{B_c} – средняя продолжительность восстановления сети по выбранному направлению.

Коэффициент готовности НС и сети по выбранному направлению:

$$K_T = \frac{T}{T + T_B}. \quad (10)$$

Методика расчета надежности систем водоснабжения с водопроводной сетью разветвленного типа

Предлагается проектирование или реконструкцию системы водоснабжения сельского населенного пункта вести в такой последовательности:

1. Выбор типа системы водоснабжения (хозяйственно-питьевая или объединенная хозяйственно-питьевая и противопожарная); предполагается, что система не выполняет противопожарных функций, поэтому участки сети могут быть значительной длины, но диаметр не более 100 мм.

2. Определение расчетных расходов воды на основе принятых норм водопотребления.

3. Выбор схемы водоснабжения для выбранного типа системы (поверхностные или подземные источники водоснабжения).

4. Предварительный выбор места расположения водозаборных сооружений и трассировки водопроводной сети.

5. Предварительный гидравлический расчет водопроводной сети с определением удельных, путевых и узловых расходов воды, а также диаметров труб участков сети.

6. Определение оптимального места расположения водозаборных сооружений с определением узла равнонадежности.

7. Гидравлический расчет принятой схемы водопроводной сети при расположении скважины в узле равнонадежности.

8. Расчет надежности водозаборной скважины.

9. Расчет безотказности водоснабжения диктующим потребителям.

10. Расчет времени восстановления водоснабжения диктующим потребителям.

11. Анализ расчетов надежности.

Выбор оптимального места расположения водозаборной скважины

Одним из основных вопросов на этапе проектирования систем водоснабжения является выбор места расположения водозаборной скважины. На решение этой задачи влияют следующие факторы: места расположения источников водоснабжения, геодезические данные территории населенного места, назначение системы водоснабжения, экономические факторы и др. С учетом надежности, основными факторами, которые влияют на выбор места расположения водозаборной скважины, является назначение системы водоснабжения, тип и протяженность водопроводных сетей. Если проектируется или реконструируется система водоснабжения небольшого населенного пункта, то такая система водоснабжения не выполняет, обычно, противопожарных функций и имеет водопроводную сеть разветвленного типа. В таком случае базовыми показателями надежности принимаем среднюю наработку на отказ T и среднее время восстановления T_B , а основным показателем – коэффициент готовности K_T системы водоснабжения по выбранному направлению подачи воды. При этом направления подачи воды определяются от водозаборной скважины до диктующих потребителей. Понятно, что место расположения водозаборной скважины относительно диктующих потребителей влияет на надежность подачи воды к ним. Вызвано это тем, что на безотказность подающего трубопровода влияет два основных фактора: диаметр и длина трубопровода (при выбранном материале труб). Чем больше длина подающего трубопровода, при принятых диаметрах и материале труб, тем меньше наработка на отказ T . Оптимальным, из условий надежности, является такое расположение скважины в системе водоснабжения с сетью разветвленного типа, когда наработ-

ки на отказ T от скважины до всех диктующих потребителей максимально возможные, а параметры потока отказов ω к диктующим потребителям минимально возможные. Критерием оптимизации следует принять параметр потока отказов системы водоснабжения по направлению подачи воды от скважины до диктующего потребителя $\omega = 1/T$.

Определение центра равнонадёжности

Место расположения водозаборной скважины, когда надежность подачи воды ко всем потребителям будет максимально возможной, назовем центром равнонадёжности. В терминах теории надежности это означает, что наработка на отказ до диктующих потребителей должна быть максимально возможной. Расчеты удобнее выполнять через параметры потока отказов по направлениям $\omega = 1/T$.

Частую будет возникать ситуация, когда центр равнонадёжности находится на участке водопроводной сети между двумя узлами. Если в этой точке нет возможности образовать узел с расположением в нем водозаборной скважины, то центр равнонадёжности нужно сместить в ближайший узел водопроводной сети. В этом случае необходимо выполнить новые расчеты надежности подачи воды диктующим потребителям.

При расположении водозаборной скважины в центре равнонадёжности, разветвленная водопроводная сеть превращается в некую условную “звезду”. В центре этой “звезды” находится водозаборная скважина, а на концах “лучей” (участков сети) расположены диктующие потребители. Вода при этом подается одновременно параллельно по всем направлениям к диктующим потребителям и безотказность ее подачи будет в таком случае максимально возможной.

Математическое обоснование поиска центра равнонадёжности

Выполним математическую постановку этой технической задачи. Представим водопроводную сеть разветвленного типа неориентированным взвешенным графом G без циклов и петель. В концевых вершинах графа расположены диктующие потребители воды – это такие потребители, надежность водоснабжения которых является наименьшей. Ребра графа имеют вес, а именно длину l_i – расстояние между концевыми вершинами i -го ребра. Последовательность ребер между концевыми вершинами образует цепь.

Утверждение. При расположении водозаборной скважины в середине наиболее длинной цепи, расстояние от водозаборной скважины до конечных вершин графа не будут превышать половины длины самой длинной цепи.

Доказательство. Определим максимальную цепь $\langle u, v \rangle$ (рис. 1). Пусть L – длина цепи $\langle u, v \rangle$. Расположим на этой цепи дополнительную вершину n так, чтобы образовалось две равных цепи $\langle u, n \rangle$ и $\langle n, v \rangle$. При этом длина каждой из них равна $L/2$. Докажем, что на графе G не существует незамкну-

той цепи с началом в вершине n такой, чтобы её длина превышала длину $\langle u, n \rangle$ или $\langle n, v \rangle$.



Рис. 1. Водопроводная сеть в виде неориентированного взвешенного графа G

Fig. 1. Water network is as the non-orientable self-weighted count G

Пусть существует цепь L^* , длина которой больше чем $L/2$. Тогда $L^* + L/2 > L$, чего не может быть, ибо это противоречит условию утверждения, ведь L – длина максимальной незамкнутой цепи на графе G . Таким образом, утверждение доказано.

Для алгоритмического решения задачи использован алгоритм с переходом на параметр потока отказов. Сначала вычислены параметры потока отказов от первой вершины ко всем остальным, затем второй – ко всем остальным и т.д. В ходе последующих итераций найдены значения параметров потока отказов между всеми конечными вершинами. Получен двумерный массив, который содержит данные по параметрам отказов между всеми вершинами. Изначально все вершины графа обозначаем маркером расстояния от первой вершины к всем остальным. Первая вершина V_0 имеет метку 0 , другие условно обозначаем ∞ потому, что расстояние к ним неизвестно, P – список точек.

Алгоритм и блок-схема программы поиска центра равнонадёжности

Предлагается следующий алгоритм поиска центра равнонадёжности в системе водоснабжения с водопроводной сетью разветвленного типа [28].

Шаг 1. Ввод дерева сети и начальных данных.

Шаг 2. Вычисление параметра потока отказов участков ω_y .

Шаг 3. Вычисление параметра потока отказов сети ω_c между всеми диктующими потребителями.

Шаг 4. Выбор наибольшего значения ω_c и деление его пополам.

Шаг 5. Нахождение точки на сети, которая соответствует $1/2 \omega_c$ и которую считаем центром равнонадёжности.

Шаг 6. Вычисление параметра потока отказов системы водоснабжения ω от центра равнонадёжности до диктующих потребителей.

Шаг 7. Вычисление параметра потока отказов водозаборной скважины $\omega_{скв}$.

Шаг 8. Вычисление наработки на отказ T_j системы водоснабжения по выбранному направлению.

Шаг 9. Вычисление среднего времени восстановления работоспособности T_{B_i} системы водоснабжения по выбранному направлению.

Шаг 10. Определение коэффициента готовности K_r системы водоснабжения по выбранному направлению.

Шаг 11. Определения коэффициента простоя K_n системы водоснабжения по выбранному направлению.

Блок-схема расчета надежности приведена на рис. 2.

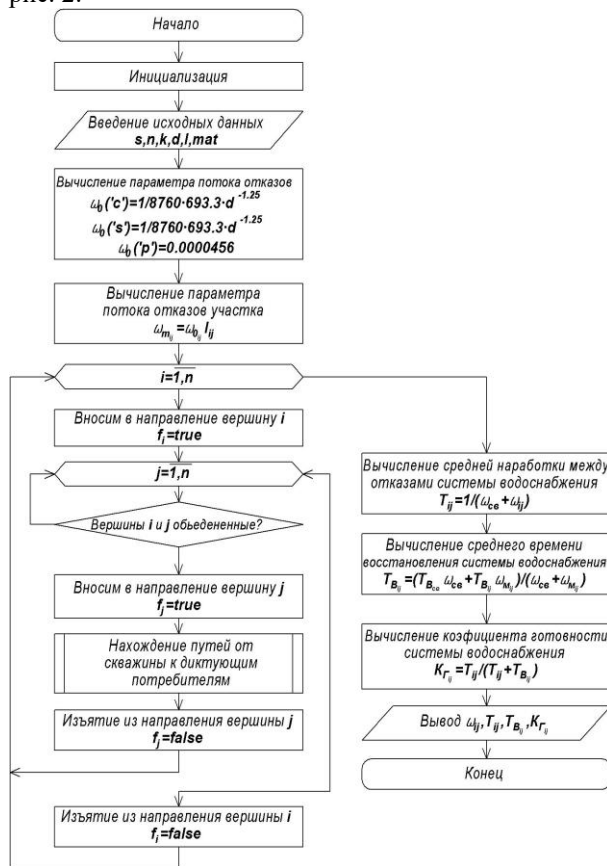


Рис. 2. Блок-схема расчета надежности
Fig. 2. A block diagram of the calculation of reliability

Для создания программного обеспечения компьютерного расчета основных показателей надежности системы водоснабжения с сетью разветвленного типа и нахождения оптимального места расположения водозаборной скважины использован язык программирования Pascal ABC. Расчет выполняется от водозаборной скважины до диктующих потребителей, то есть потребителям, которые находятся в конечных узлах сети. Алгоритм этого расчета и разработанная блок-схема применена при разработке компьютерной программы расчета [28]. Для работы с программой нужно иметь только дерево сети и конструктивные характеристики труб участков: длину, диаметр и материал труб. Расчет осно-

вных показателей надежности с помощью разработанной программы можно выполнить для стальных, чугунных (серый чугун) или полиэтиленовых труб.

Пример расчета надежности системы водоснабжения поселка городского типа

Водоснабжение осуществляется из подземного источника путем устройства водозаборной скважины. Водопроводная сеть поселка разветвленного типа и не выполняет противопожарных функций. Сети этого типа – это сети без циклов, которые можно показывать в виде деревьев с корнем в вершине, где расположена водозаборная скважина. Поэтому между любыми двумя вершинами существует путь и, к тому же, только один. Элементами системы водоснабжения будут оборудование системы и участка сети различного диаметра.

Для расчетов надежности используем следующие зависимости.

Параметр потока отказов i -го участка сети:

$$\omega_{y_i} = \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} L_i, \quad (11)$$

где: L_i – длина участка трубопровода i -го диаметра, км,

ω_{0_i} – удельный параметр потока отказов трубопровода i -го диаметра, 1/час·км.

Среднее время восстановления водопроводной сети по выбранному направлению:

$$T_{B_c} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{B_{y_i}} \omega_{y_i}}{\sum_{i=1}^n \omega_{y_i}}, \quad (15)$$

где: $T_{B_{y_i}}$ – среднее время восстановления i -го участка сети.

Параметр потока отказов системы водоснабжения по выбранному направлению:

$$\omega = \omega_{ске} + \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} \cdot L_i. \quad (16)$$

Средняя наработка на отказ системы по выбранному направлению:

$$T = \frac{1}{\omega_{ске} + \sum_{i=1}^n \omega_{0_i} \cdot L_i}. \quad (17)$$

Среднее время восстановления системы по выбранному направлению:

$$T_B = \frac{T_{B_{ске}} \omega_{ске} + T_{B_c} \omega_c}{\omega_{ске} + \omega_c}, \quad (18)$$

где: $T_{B_{ске}}$ – среднее время восстановления водозаборной скважины,

T_{B_c} – среднее время восстановления водопроводной сети по направлению.

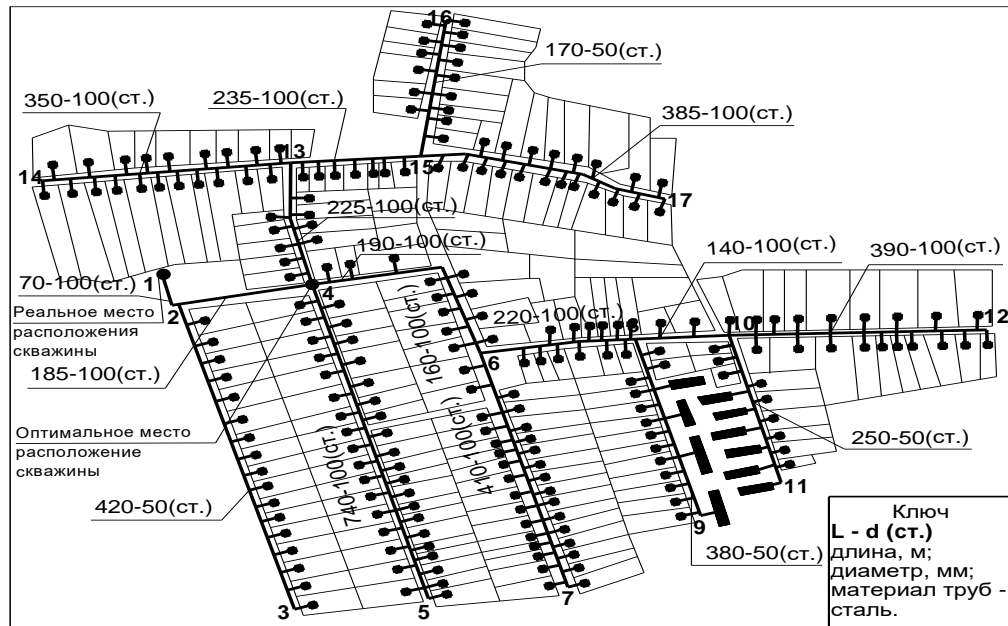


Рис. 3. План локальной системы водоснабжения поселка городского типа
Fig. 3. Plan of the local system of water-supply of settlement of municipal type

Коэффициент готовности системы водоснабжения по выбранному направлению:

$$K_r = \frac{T}{T + T_B} \quad (19)$$

Коэффициент простоя системы водоснабжения по выбранному направлению:

$$K_{pi} = 1 - K_r \quad (20)$$

Подготовка исходных данных для поиска центра равнонадёжности на ПЭВМ

Параметр потока отказов скважины (рис. 4) вычислено по формуле:

$$\omega_{ске} = \omega_\phi + \omega_{о.т} + \omega_{н.а} + \omega_{в.т} + \omega_{б.у} + \omega_z + \omega_{з.к}$$

Где: ω_ϕ , $\omega_{о.т}$, $\omega_{н.а}$, $\omega_{в.т}$, $\omega_{б.у}$, ω_z , $\omega_{з.к}$ – параметр потока отказов фильтра, обсадной трубы, насосного агрегата, водоподъемной трубы, блока управления, задвижки, обратного клапана [8]:

$$\omega_{ске} = 0,00003 + 0,000015 + 0,000125 + 0,000031 + 0,000095 + 0,00006 + 0,000008 = 0,0003641 / \text{час.}$$

Для нахождения среднего значения удельного параметра потока отказов ω_0^{mid} использованы аналитические зависимости [26]:

- стальные трубы $\omega_0^{mid} = 117,3 \cdot D^{-0.81}$,

- чугунные трубы $\omega_0^{mid} = 693,3 \cdot D^{-1.25}$,

- полиэтиленовые трубы $\omega_0^{mid} = 0,4$ 1/год·км.

Исходные данные для расчета системы водоснабжения разветвленного типа заносятся в файл Блокнота с расширением txt (рис.5). В файл “Связи” заносятся данные относительно дерева сети, а именно количество узлов, местоположение водозаборной скважины и связи между узлами. Вектор в данном случае указывает направление подачи воды от соответствующего узла сети (графа “ном. узла”) к следующему (графа “Вектор”).

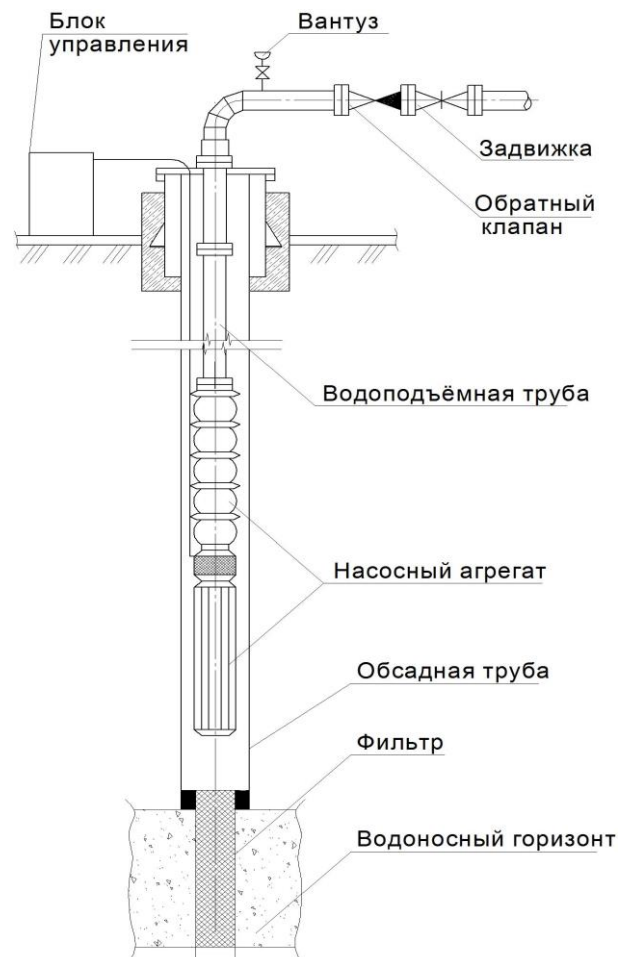


Рис. 4. Схема оборудования водозаборной скважины
Fig. 4. Driving equipment water well

В файл “Характеристики” записываются конструктивные характеристики каждого участка: диаметр (мм), длина (км) и материал. Обозначение

соответствующего материала указаны в шапке исходного файла “Характеристики”.

1 файл - Блокнот		2 файл - Блокнот		
Файл	Правка	Формат	Вид	Справка
Файл №1		Файл №2		
Кількість вузлів	17	Ном. вузла.	Век-тор	Діа-метр (мм)
Місце вододжерела	1	Дов-жина (м)	Мат.	
Ном. вузла	Век-тор			
1	2	1	2	50
2	3	2	4	50
2	4	4	13	100
4	5	13	14	100
4	13	13	15	100
4	6	15	17	100
6	7	15	16	50
6	8	4	6	100
8	9	6	8	100
8	10	8	10	100
10	11	10	12	100
10	12	10	11	50
13	14	8	9	50
13	15	6	7	50
15	16	4	5	100
15	17	2	3	50

Рис. 5. Пример заполнения файлов начальных данных.

Fig. 5. Example of filling of files of initial data.

По разработанной программе выполнен расчет надежности одной из локальных систем водоснабжения с сетью разветвленного типа поселка городского типа в Полтавской области (рис.3). Водозаборная скважина находится в узле №1, водопроводная сеть разветвленного типа, диаметры труб от 50 до 100 мм, материал труб – сталь. Расчет надежности системы водоснабжения поселка выполнен по направлениям подачи воды к диктующим потребителям. Расчеты выполнены с помощью созданной программы на языке программирования Pascal ABC. Расчеты занесены в текстовый файл программы “Блокнот” (рис. 6).

При существующем месте расположения скважины в узле №1 установлено, что наименее надежным направлением подачи воды является направление 1-9, для которого среднее время наработки на отказ составляет $T = 1164,6$ ч, среднее время восстановления работоспособности $T_B = 11,22$ ч. Расчет (рис. 7) позволил установить оптимальное место расположения водозаборной скважины – это узел №4. Направлением наименьшей надежности подачи воды, при размещении скважины в узле №4, является направление 4-9 (рис. 3). Для указанного направления среднее время наработки на отказ составляет $T = 1414,71$ ч, среднее время восстановления работоспособности $T_B = 11,06$ ч. Расчеты показали, что при расположении скважины в узле №4 безотказность водоснабжения по направлению наименьшей надежности увеличилась в 1,25 раза.

Напряг	Параметр потока в/дмов мм., л/год	Напряжения на в/дмову Т, год	Тривалість відновлення Тв, год	Коефіцієнт готовності кг	Коефіцієнт простою кп
1-3	0.0006247	1600.83	10.93	0.9932	0.0068
1-5	0.0006700	1492.55	11.01	0.9927	0.0073
1-7	0.0008214	1217.36	11.19	0.9909	0.0091
1-9	0.0008587	1164.62	11.22	0.9905	0.0095
1-11	0.0008163	1225.03	11.18	0.9910	0.0090
1-12	0.0007651	1307.02	11.13	0.9916	0.0084
1-14	0.0006287	1390.59	10.94	0.9932	0.0068
1-16	0.0007011	1426.31	11.05	0.9923	0.0077
1-17	0.0006963	1436.22	11.04	0.9924	0.0076
Напрямок подавання води найменшої надійності					
1-9	0.0008587	1164.62	11.22	0.9905	0.0095

Рис. 6. Расчет надежности локальной системы водоснабжения при расположении скважины в узле №1

Рис. 6. A calculation of reliability of the local water supply system when the location of the well site № 1

Напряг	Параметр потока в/дмов мм., л/год	Напряжения на в/дмову Т, год	Тривалість відновлення Тв, год	Коефіцієнт готовності кг	Коефіцієнт простою кп
4-1	0.0004848	2062.75	10.63	0.9949	0.0051
4-3	0.0006931	1442.73	11.04	0.9924	0.0076
4-5	0.0005182	1929.74	10.71	0.9945	0.0055
4-7	0.0006997	1493.30	11.01	0.9927	0.0073
4-9	0.0007069	1414.71	11.06	0.9922	0.0078
4-11	0.0006645	1504.86	11.00	0.9927	0.0073
4-12	0.0006133	1630.50	10.91	0.9934	0.0066
4-14	0.0004769	2096.84	10.60	0.9950	0.0050
4-16	0.0005493	1820.43	10.79	0.9941	0.0059
4-17	0.0005445	1836.61	10.78	0.9942	0.0058
Напрямок подавання води найменшої надійності					
4-9	0.0007069	1414.71	11.06	0.9922	0.0078

Рис. 7. Расчет надежности локальной системы водоснабжения при расположении скважины в узле №4.

Fig. 7. A calculation of reliability of the local system water-supply when the location of the well site №4.

ВЫВОДЫ

1. Введение понятия центра равнонадёжности в системах водоснабжения с сетями разветвленного типа, разработанная математическая модель и алгоритмическое решение задачи позволяют рассчитывать надежность водоснабжения отдельных потребителей воды в малых населенных пунктах.

2. Базовые показатели надежности – наработка на отказ T и среднее время восстановления T_B должны сравниваться с требованиями по надежности водоснабжения и, в случае необходимости, должны приниматься меры по увеличению надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення / Постанова Кабінету Міністрів України від 21 липня 2005р. №630.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-74:2013 – [Чинний від 2013-12-15], 2013. — К.: Мінрегіонбуд України. — 281.
3. Абрамов Н., 1974. О проблемах надежности систем водоснабжения // Водные ресурсы. – №2. – 114 – 119.
4. Абрамов Н., Малов В., 1976. О надежности систем водоснабжения и путях ее обеспечения //

- Известия АН СРСР. Энергетика и транспорт. – №1. –161 – 176.
5. Абрамов Н., 1984. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат. – 216.
 6. Абрамов Н., 1979. Надежность систем водоснабжения. – М.: Стройиздат. – 231.
 7. Абрамов Н., 1982. Водоснабжение: [учебник]. – М.: Стройиздат. – 440.
 8. Ильин Ю., 1985. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. – М.: Стройиздат. – 240.
 9. Ильин Ю., 1987. Расчет надежности подачи воды. – М.: Стройиздат. – 320.
 10. Готлось Г., 2004. Аварійність і вартість ремонту водопровідних мереж (на прикладі міст Польщі). Ринок інсталяцій. – №6 (90). – 9-12.
 11. П'єхурські Ф., 2003. Причини й оцінка аварійності розподільної водопровідної мережі. Ринок інсталяцій. – №6 (78). –11-13. – початок.
 12. П'єхурські Ф., 2003. Причини й оцінка аварійності розподільної водопровідної мережі / Флоріан П'єхурські // Ринок інсталяцій. – №6 (78). – 11-13. – закінчення.
 13. Рак Я., 2008. Інженерія безпеки громадських водогонів. Ринок інсталяцій. – 2008. – №9 (136). –6-10.
 14. Рак Я., 2010. Аналіз угроз і управління ризиком на водогінних системах. Ринок інсталяцій. – №5. – 5-7.
 15. Рак Я., Тхужевська-Цесьляк Б., Студзінський А. 2010. Як запобігти поломці у системі водопостачання. Ринок інсталяцій. – №9 (157). – 12-14.
 16. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., 2005. Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. - Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
 17. Rak J., 2005. Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. – Komitet Inżynierii Środowiska PAN. – Т. 28. – Lublin. –1 – 215.
 18. Храменков С., 2005. Стратегия модернизации водопроводной сети. – М.: ОАО Из-во “Стройиздат”. – 400.
 19. Примин О., Орлов В., 2006. Оценка и прогноз технического состояния трубопроводов. Водоснабжение и санитарная техника. – № 1. – ч. 1. 25-28.
 20. Алексеев М., Ермолин А., 2009. Вероятностные характеристики времени наработки между отками восстанавливаемых объектов водопроводно-канализационного хозяйства. Водоснабжение и санитарная техника. – №5. –26-28.
 21. Хоружий П., Хомутецька Т., Хоружий В., 2008. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука. – 534.
 22. Ткачук О., 2008. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів. – Рівне: НУВГП. – 301.
 23. Найманов А., 2005. О надежности систем водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – №7. –30 – 35.
 24. Новохатній В., 2012. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.04 – водопостачання, каналізація. – К.: КНУБА. – 32.
 25. Новохатній В., Костенко С., 2013. Надежность водопроводов систем водоснабжения. MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 15, №6 –101-108.
 26. Матяш А., 2014. Надежность водопроводных металлических труб Украины. MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 16, № 6. –17–125.
 27. Надійність техніки. Терміни та визначення. 195. ДСТУ 2860-94. – К.: Держстандарт України.
 28. Матяш О., 2012. Удосконалення методів оцінювання надійності та розрахунків розгалужених водопровідних мереж: автореф. дис. канд. техн. наук. – Рівне.: НУВГП. – 20.

DEPENDABILITY OF WATER-SUPPLY SYSTEMS SMALL SETTLEMENTS

Summary. In the article it is resulted algorithm of calculation of reliability of the ramified water network and his practical realization on the example of small settlement. On the basis of an offer method of calculation of reliability computer program is written for the acceleration of implementation of calculations and acceptance of effective engineering decisions from the increase of reliability.

Key words: water systems, dependability, reliability, maintainability.